



**PCT**  
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro  
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

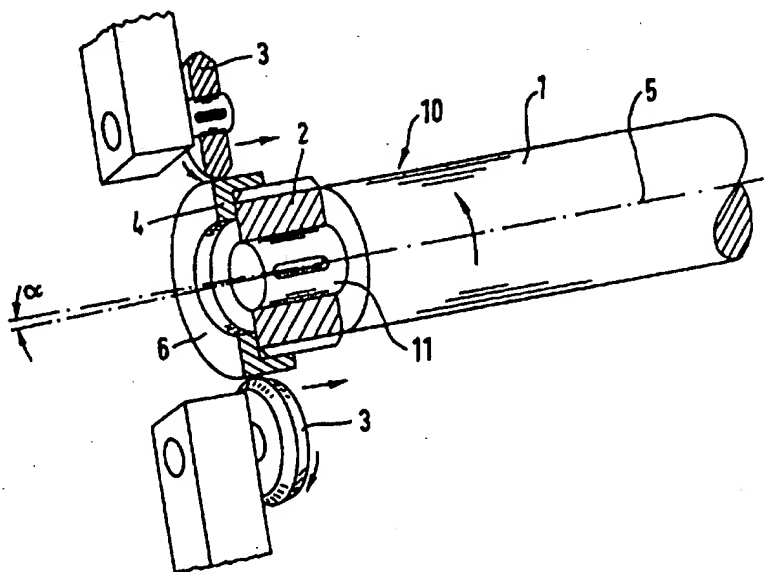
(51) Internationale Patentklassifikation 6 : <b>B21C 37/20</b>	<b>A1</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 96/20050</b> (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 4. Juli 1996 (04.07.96)
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/EP95/05105</b> (22) Internationales Anmeldedatum: 22. December 1995 (22.12.95) (30) Prioritätsdaten: P 44 46 919.5 28. December 1994 (28.12.94) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): DYNA-MIT NOBEL AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Kaiserstrasse 1, D-53840 Troisdorf (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ZIMMERMANN, Willi [DE/DE]; Schulstrasse 29, D-53757 St. Augustin (DE). STEIN, Bernd [DE/DE]; An der Düne 25, D-53119 Bonn (DE). ZIMMERMANN, Jürgen [DE/DE]; Altenrather Strasse 2c, D-53840 Troisdorf (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: CA, CN, CZ, JP, KR, MX, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.	

(54) Title: METHOD OF MANUFACTURING INTERNALLY GEARED PARTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON INNENVERZAHNTEN TEILEN

(57) Abstract

The invention concerns a flow-turning process for manufacturing internally geared parts, with a press mandrel (10) comprising a mandrel (1) on which is fitted a forming tool (2) and one or more pressure rollers (3). A workpiece (4) is held between the forming tool (2) or press mandrel (10) and press rollers (3) and undergoes plastic deformation under the force exerted by the press rollers (3). As an improvement, in particular with regard to mass production, it is proposed that the forming tool should consist of chromium- and molybdenum-containing materials and should be tempered and surface-hardened, and that the distance between the forming tool (2) and the mounting of the press mandrel (10) in the machine should be sufficient to permit a degree of deviation ( $\alpha$ ) by the forming tool (2) relative to the machine axis (5).



#### (57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Abstreckdruckverfahren zur Herstellung von innenverzahnten Teilen mit einem Druckdorn (10), bestehend aus einem Dorn (1) mit einem aufgesetzten Umformwerkzeug (2) und einer oder mehreren Druckrollen (3), wobei zwischen Umformwerkzeug (2) bzw. Druckdorn (10) und Druckrollen (3) ein Werkstück (4) angeordnet ist, welches durch die Kraftbeaufschlagung der Druckrollen (3) plastisch verformt wird. Zur Verbesserung, insbesondere im Hinblick auf eine Serienfertigung, wird vorgeschlagen, daß das Umformwerkzeug (2) aus chrom- und molybdänhaltigen Werkstoffen besteht und vergütet sowie oberflächengehärtet ist und daß der Abstand des Umformwerkzeuges (2) von der Halterung des Druckdorns (10) in der Maschine so groß ist, daß das Umformwerkzeug (2) eine gewisse Auslenkung ( $\alpha$ ) zur Maschinenachse (5) durchführen kann.

#### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

## Verfahren zur Herstellung von innenverzahnten Teilen

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von innenverzahnten Teilen nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

10

In der DE-A1-24 20 014 ist ein gattungsgemäßes zylindrisches Abstreckdruckverfahren beschrieben, bei dem ein rohrförmiges Werkstück einem rotierenden Fließpreßvorgang unterworfen wird. Es tritt dabei eine plastische Verformung bzw. ein punktförmiges Teigigwerden des Werkstoffs ein. Dieses Verfahren unterscheidet sich grundsätzlich vom Walzen, Hämmern oder Tiefziehen, da hierbei lediglich eine Kaltverfestigung des Werkstoffs eintritt.

15

Beim beschriebenen Abstreckdruckverfahren befindet sich das Werkstück auf einem drehbar angetriebenen Drückdorn, wobei von außen eine oder mehrere Drückrollen während einer Längsbewegung gegen das Werkstück anliegen. Zwischen dem Drückdorn bzw. einem Umformwerkzeug und der Drückrolle bzw.

20

den Drückrollen findet eine Fließverformung des Metalls statt, wobei die Wandstärke des Werkstücks verringert und seine Länge vergrößert wird.

25

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 insgesamt so stark zu verbessern, daß eine Serienfertigung gewährleistet ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

30

Dadurch, daß der Abstand des Umformwerkzeugs von der Halterung des Drückdorns in der Maschine so groß ist, daß das Umformwerkzeug eine gewisse Auslenkung zur Maschinenachse durchführen kann, ist garantiert, daß das Umformwerkzeug sich unter dem Druck der gleichmäßig auf dem Umfang angreifenden Drückrollen durch Auslenkung des Dorns zentrieren kann. Die

35

selbsttätige Zentrierung des Dorns (und damit des Umformwerkzeuges) bedingt eine sichere Fertigung ohne ständige Werkzeugbrüche durch Verspannungen unter dem äußeren Rollendruck.

Das Umformwerkzeug besteht erfindungsgemäß aus chrom- und molybdänhaltigen Werkstoffen (z.B. nach DIN 1.2343; 1.2344; 1.2606) und ist vergütet sowie oberflächengehärtet. Vorzugsweise wird es anschließend noch poliert. Durch diese Maßnahmen ist das Umformwerkzeug extrem haltbar und für den Dauereinsatz geeignet.

Der Abstand des Umformwerkzeugs von der Halterung des Dorns ist vorteilhafterweise größer gleich 200 mm, bevorzugt 500 mm. Dieses Maß ist selbstverständlich abhängig von der Stabilität und Größe der Maschine. Auf jeden Fall muß sichergestellt sein, daß das Umformwerkzeug eine gewisse Auslenkung vollziehen kann.

Die Drückrollen sind vorzugsweise aus HSS-Stahl bzw. Hartmetall hergestellt. Außerdem liegt der Einlaufwinkel der Drückrolle bzw. der Drückrollen in bevorzugter Ausführungsform zwischen 5-45°, der Auslaufwinkel zwischen 0-20° und der äußere Rollenradius zwischen 0,5-25 mm.

Ein weiteres erfindungsgemäßes Merkmal sieht vor, daß das Werkstück als vorgedrehtes oder vorgeschmiedetes topfförmiges Rohteil auf das Umformwerkzeug aufgeschoben wird. Hierdurch ist das Werkstück auf dem Umformwerkzeug fest verankert.

Damit die Drückrollen am Werkstück besser angreifen können, ist vorteilhafterweise an der äußeren Stirnseite des Werkstücks eine Einschnürung vorgesehen, deren Tiefe  $0,2-0,6 \times S$  beträgt, wobei S die Dicke der Wand des Werkstücks ist. Zweckmäßigerweise geht die Einschnürung über einen Winkel  $\delta$  von maximal 45° in die äußere Umfangsfläche des Werkstücks über.

In einer bevorzugten Variante kann das Abstreckdrücken auch im Gegenlaufdruckverfahren durchgeführt werden. Hierbei ist angrenzend an das Umformwerkzeug ein in der Maschine geführter Reitstock angeordnet und Dorn, Umformwerkzeug und Reitstock bilden eine Einheit. Das Werkstück ist hierbei als topfförmiges Rohteil zwischen Umformwerkzeug und Dorn eingespannt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird zur Herstellung von innenverzahnten Teilen mit einer doppelseitigen Verzahnung eine Kombination aus dem Gleichlaufdruckverfahren und dem Gegenlaufdruckverfahren angewendet, wobei sich zwischen den beiden Umformwerkzeugen ein

5 doppelseitiges topfförmiges Rohteil als Werkstück befindet, eine dem Reitstock benachbarte Drückrolle im Gegenlaufdrückverfahren vom Ende des Rohteils zur Mitte hin fortbewegt wird und eine dem Dorn benachbarte Drückrolle im Gleichlaufdrückverfahren von der Mitte des Rohteils aus in Richtung Dorn fortbewegt wird.

10 Vorteilhafterweise weist das doppelseitige topfförmige Werkstück als Rohteil eine auf einer Seite zur Mitte hin gerichtete Einschnürung auf, die in einem Winkel von maximal  $20^\circ$  in die äußere Umfangsfläche des Werkstücks übergeht und eine Tiefe von  $0,2-0,6 \times S$  aufweist, wobei S die Dicke der Wand des Werkstücks ist.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Figuren, die nachfolgend beschrieben sind. Es zeigt:

15 Fig. 1 ein Drückdorn mit aufgelegtem Werkstück und angelegten Drückrollen im Gleichlaufdrückverfahren,

Fig. 2 ein Drückdorn mit einem schrägverzahnten Umformwerkzeug,

20 Fig. 3 eine Anordnung zum Abstreckdrücken im Gegenlaufdrückverfahren,

Fig. 4 eine Anordnung zum Abstreckdrücken eines Werkstücks mit doppelseitiger Verzahnung,

25 Fig. 5 im Schnitt ein Umformwerkzeug,

Fig. 6 im Schnitt eine Drückrolle,

Fig. 7 im Schnitt ein topfförmiges Werkstück als Rohteil und

30 Fig. 8 im Schnitt ein doppeltopfförmiges Werkstück als Rohteil.

35 Fig. 1 zeigt schematisch einen Teil eines Drückdorns 10, der aus einem Dorn 1 mit einem an der Endseite angebrachten Umformwerkzeug 2 besteht. Nicht gezeigt ist die Halterung des Drückdorns 10 in einer Maschine. Das Umformwerkzeug 2 ist auf einer stirnseitigen Erweiterung 11 des Dorns 1 drehfest aufgesetzt.

Fig. 5 zeigt im Schnitt eine Ausführungsform eines solchen Umformwerkzeugs 2. Auf der Oberfläche des Umformwerkzeugs 2 sind längsverlaufende Zähne, Rillen oder Nuten angeordnet, die das Negativ einer herzustellenden Verzahnung darstellen.

5

Auf das Umformwerkzeug 2 ist ein topfförmiges Werkstück 4 aufgeschoben (siehe Fig. 1). Von außen greifen Drückrollen 3 auf das Werkstück 4 an, wobei durch die Krafteinwirkung der Drückrollen 3 eine Fließverformung des Metalls des Werkstücks 4 erfolgt. Dabei wird dessen Wandstärke verringert und die Länge gleichzeitig vergrößert. Dargestellt ist hier das Gleichlaufdrückverfahren.

10

Erfindungsgemäß ist der Abstand des Umformwerkzeugs 2 von der nicht gezeigten Halterung des Drückdorns 10 in der Maschine so groß gewählt, daß das Umformwerkzeug 2 eine gewisse Auslenkung  $\alpha$  zur Maschinenachse 5 ausführen kann. Hierdurch kann sich das Umformwerkzeug 2 zwischen den Drückrollen 3 selbst zentrieren. Der Abstand des Umformwerkzeugs 2 von der Halterung sollte aus diesem Grund größer gleich 200 mm, bevorzugt 500 mm sein. Damit das Umformwerkzeug 2 haltbarer ist, ist es erfindungsgemäß aus chrom- und molybdänhaltigen Werkstoffen hergestellt und vergütet sowie oberflächengehärtet.

20

Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform eines Drückdorns 10 mit einem schrägverzahnten Umformwerkzeug 2 und einem aufgelegten Werkstück 4, welches gerade von einer Drückrolle 3 auf das Umformwerkzeug 2 gedrückt wird. Bei der Formung von schrägverzahnten Teilen wird besonders das Umformwerkzeug 2 durch den axial fließenden Werkstoff auf Bruch der Zähne beansprucht. Durch entsprechende Wahl der Umformparameter wie Vorschub der Drückrollen, Reduktionsgrad, Rollengeometrie und Drehzahl der Maschine kann die Neigung des Werkstoffs zur Torsion beim Umformen genutzt werden. Hierdurch wird das Umformwerkzeug 2 entlastet und damit eine längere Standzeit erreicht.

25

30

Durch die Umformung des Werkstoffs beim Abstreckdrückverfahren entsteht eine starke Verfestigung des Werkstoffs. Diese Verfestigung kann durch entsprechende Wahl des Umformgrades und der Werkzeuggeometrie beeinflusst werden. Damit wird eine nachträgliche Vergütung und Härtung von innenverzahnten Teilen unnötig. Die Kaltverfestigung sowie eine eventuelle

35

Oberflächenhärtung durch bekannte Nitrierverfahren gewährleisten die gewünschte Härte und Verschleißfestigkeit der Teile.

5 Fig. 3 zeigt das Abstreckdrücken im Gegenlaufverfahren. Hierbei ist angrenzend an das Umformwerkzeug 2 ein in der Maschine geführter Reitstock 9 angeordnet, wobei Dorn 1, Umformwerkzeug 2 und Reitstock 9 eine Einheit bilden. Das Werkstück 4 ist als topfförmiges Rohteil zwischen Umformwerkzeug 2 und Dorn 1 bzw. einem Halteelement 12 eingespannt. Die Drückrolle bzw. die Drückrollen 3 greifen an der zum Reitstock 9 gewandten Endseite des Werkstücks 4 an diesem  
10 an und bewegen sich von dort aus in Richtung Dorn 1.

Fig. 4 zeigt die Herstellung eines innenverzahnten Teils mit einer doppelseitigen Verzahnung, wobei eine Kombination aus dem Gleichlaufdruckverfahren und dem Gegenlaufdruckverfahren angewendet wird. Zwischen einem Reitstock 9  
15 und einem Dorn 1 sind hier zwei Umformwerkzeuge 2a, 2b angeordnet, wobei sich zwischen den Umformwerkzeugen 2a, 2b ein doppelseitiges topfförmiges Werkstück 4' befindet. Dieses Werkstück 4' wird noch eingehender in Fig. 8 beschrieben. Das Abstreckdrücken im Gleichlaufdruckverfahren geschieht durch eine Drückrolle 3b, die von der Mitte des Werkstücks 4' aus in Richtung Dorn 1  
20 bewegt wird. Das Gegenlaufdruckverfahren geschieht durch eine dem Reitstock 9 benachbarte Drückrolle 3a, die vom Ende des Werkstücks 4' zur Mitte hin bewegt wird.

Fig. 6 zeigt im Schnitt eine Drückrolle 3. Zur Verankerung weist diese eine innere Bohrung mit einer Nut 13 auf. Erfindungsgemäß sind die Drückrollen 3  
25 vorteilhafterweise aus HSS-Stahl bzw. einem Hartmetall hergestellt. Der Einlaufwinkel  $\beta$  der Drückrolle 3 liegt vorteilhafterweise zwischen 5-45°, der Auslaufwinkel  $\theta$  zwischen 0-20° und der äußere Rollenradius  $r$  zwischen 0,5-25 mm. Die Rollendicke  $B$  beträgt vorteilhafterweise zwischen 60 und 260 mm und  
30 die Rollenbreite  $D$  zwischen 20 bis 90 mm.

Wie schon erwähnt, wird das Werkstück 4,4' vorteilhafterweise als vorgedrehtes oder vorgeschmiedetes Rohteil auf das Umformwerkzeug 2 geschoben.

35 In Fig. 7 ist ein Werkstück 4 zur Verwendung vorteilhafterweise für das Gleichlaufdruckverfahren gezeigt. Fig. 1 zeigt eine entsprechende Anordnung. Das topfförmige Werkstück 4 weist an der äußeren Stirnseite 6 eine Einschnürung 7 auf, deren Tiefe  $a = 0,2-0,6 \times S$  beträgt, wobei  $S$  die Dicke der

Wand des Werkstücks 4 als Rohteil ist. Die Einschnürung 7 geht über einen Winkel  $\delta$  von maximal  $45^\circ$  in die äußere Umfangsfläche des Werkstücks 4 über. Diese Einschnürung 7 ermöglicht ein besseres Angreifen der Drückrollen 3.

- 5 In Fig. 8 ist im Schnitt ein doppeltopfförmiges Werkstück 4' als Rohteil gezeigt. Dieses Werkstück 4' wird in der in Fig. 4 beschriebenen Vorrichtung verwendet. Das Werkstück 4' hat eine auf einer Seite zur Mitte hin gerichtete Einschnürung 7', die in einem Winkel  $\sigma$  von maximal  $20^\circ$  in die äußere Umfangsfläche 8 des Werkstücks 4' übergeht und eine Tiefe a von  $0,2-0,6 \times S$  aufweist, wobei S die
- 10 Dicke der Wand des Werkstücks 4' als Rohteil ist. Diese Einschnürung 7' ist für das bessere Eingreifen der Drückrolle 3b in Fig. 4 vorgesehen.



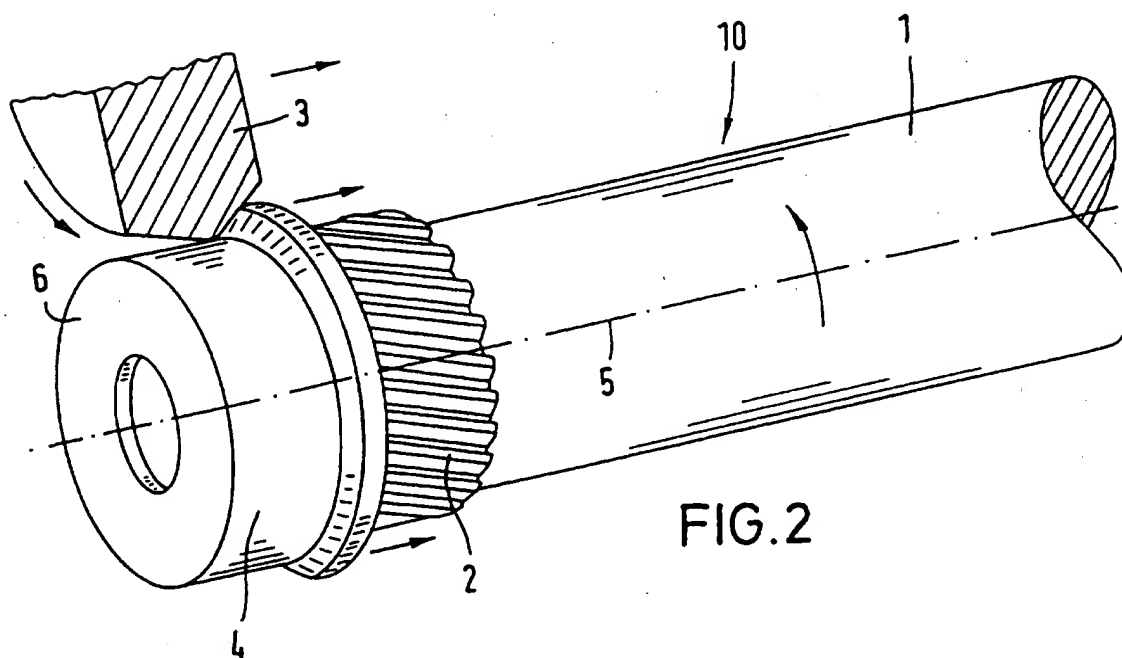
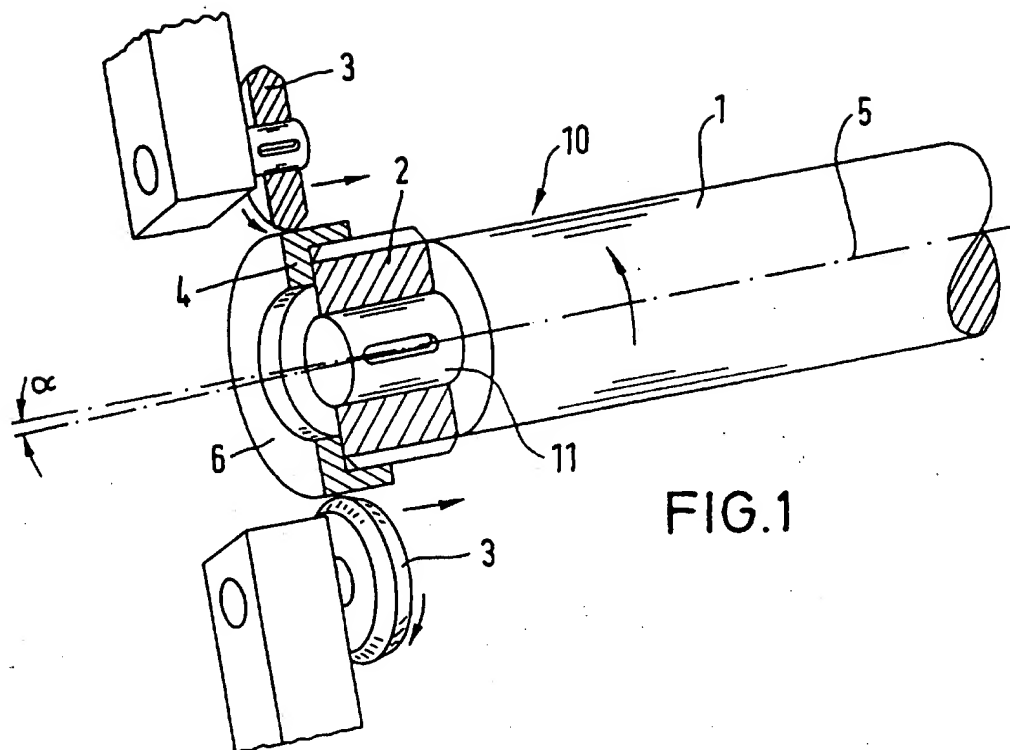
### Patentansprüche

- 5 1.) Abstreckdrückverfahren zur Herstellung von innenverzahnten Teilen mit einem Drückdorn (10), bestehend aus einem Dorn (1) mit einem aufgesetzten Umformwerkzeug (2) und einer oder mehreren Drückrollen (3), wobei zwischen Umformwerkzeug (2) bzw. Drückdorn (10) und Drückrollen (3) ein Werkstück (4) angeordnet ist, welches durch die Kraftbeaufschlagung der Drückrollen (3) plastisch verformt wird, **dadurch gekennzeichnet**,
- 10 - daß der Abstand des Umformwerkzeuges (2) von der Halterung des Drückdorns (10) in der Maschine so groß ist, daß das Umformwerkzeug (2) eine gewisse Auslenkung ( $\alpha$ ) zur Maschinenachse (5) durchführen kann, und
- 15 - daß das Umformwerkzeug (2) aus chrom- und molybdänhaltigen Werkstoffen besteht und vergütet sowie oberflächengehärtet ist.
- 20 2.) Abstreckdrückverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Abstand des Umformwerkzeuges (2) von der Halterung des Drückdorns (10) größer gleich 200 mm, bevorzugt 500 mm ist.
- 25 3.) Abstreckdrückverfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Drückrollen (3) aus HSS-Stahl bzw. Hartmetall hergestellt sind.
- 30 4.) Abstreckdrückverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Einlaufwinkel ( $\beta$ ) der Drückrolle bzw. der Drückrollen (3) zwischen 5-45°, der Auslaufwinkel ( $\theta$ ) zwischen 0-20° und der äußere Rollenradius (r) zwischen 0,5-25 mm liegt.
- 35 5.) Abstreckdrückverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Werkstück (4) als vorgedrehtes oder vorgeschmiedetes topfförmiges Rohteil auf das Umformwerkzeug (2) aufgeschoben ist.
- 6.) Abstreckdrückverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß an der äußeren Stirnseite (6) des Werkstücks (4) eine Einschnürung (7)

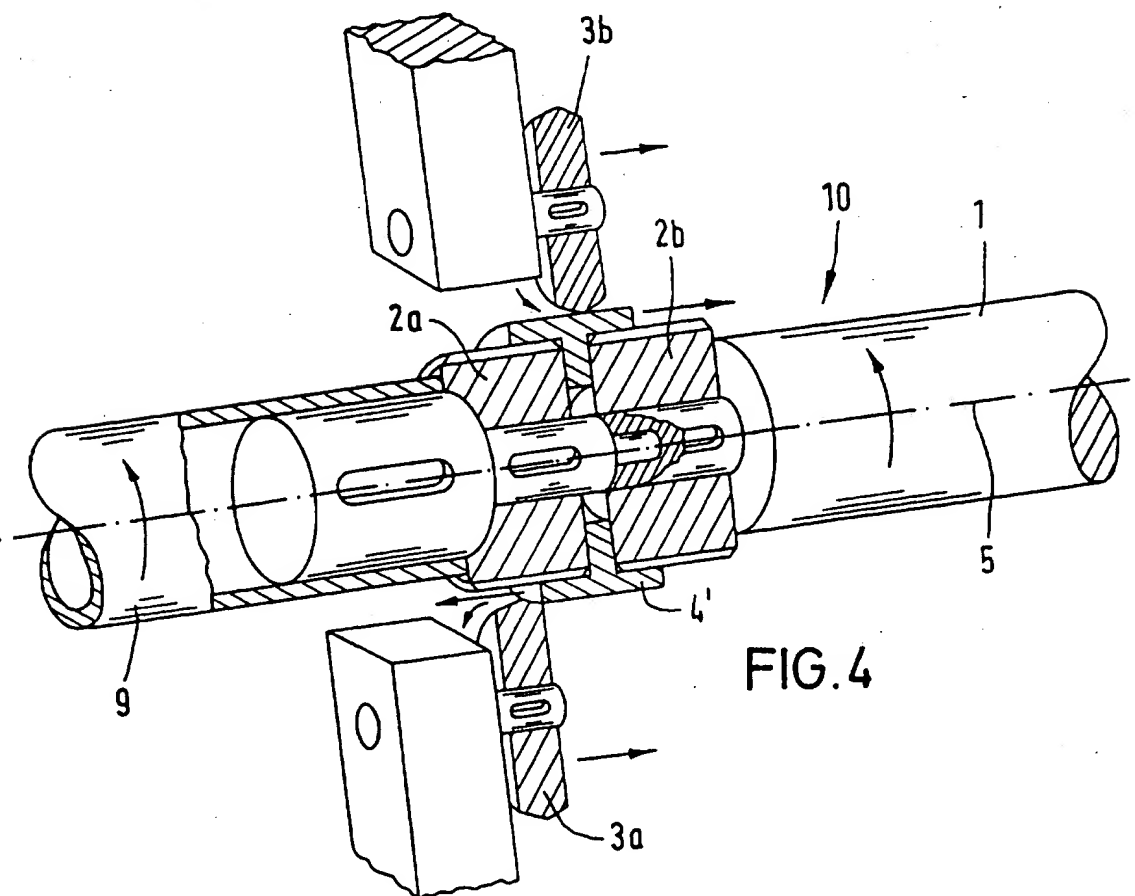
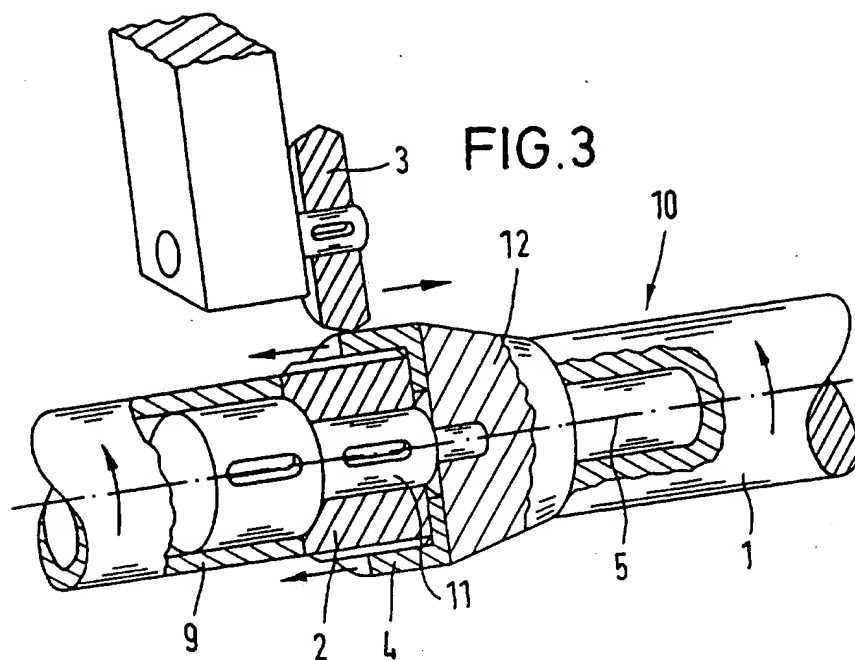
vorgesehen ist, deren Tiefe (a)  $0,2-0,6 \times S$  beträgt, wobei S die Dicke der Wand des Werkstücks (4) ist.

- 5 7.) Abstreckdruckverfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einschnürung (7) über einen Winkel ( $\delta$ ) von maximal  $45^\circ$  in die äußere Umfangsfläche (8) des Werkstücks (4) übergeht.
- 10 8.) Abstreckdruckverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Abstreckdrücken im Gegenlaufdruckverfahren durchgeführt wird, wobei
- angrenzend an das Umformwerkzeug (2) ein in der Maschine geführter Reitstock (9) angeordnet ist und Dorn (1), Umformwerkzeug (2) und Reitstock (9) eine Einheit bilden und
  - das Werkstück (4) als topfförmiges Rohteil zwischen Umformwerkzeug (2) und Dorn (1) eingespannt ist.
- 15 9.) Abstreckdruckverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Herstellung von innenverzahnten Teilen mit einer doppelseitigen Verzahnung eine Kombination aus dem Gleichlaufdruckverfahren und dem Gegenlaufdruckverfahren angewendet wird, derart,
- daß zwischen einem Reitstock (9) und einem Dorn (1) zwei Umformwerkzeuge (2a,2b) angeordnet sind,
  - daß zwischen den Umformwerkzeugen (2a,2b) ein doppelseitiges topfförmiges Werkstück (4') angeordnet ist,
  - daß eine dem Reitstock (9) benachbarte Drückrolle (3a) im Gegenlaufdruckverfahren vom Ende des Werkstücks (4') zur Mitte hin fortbewegt wird, und
  - daß eine dem Dorn (1) benachbarte Drückrolle (3b) im Gleichlaufdruckverfahren von der Mitte des Werkstücks (4') aus in Richtung Dorn (1) fortbewegt wird.
- 20 10.) Abstreckdruckverfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß das doppelseitige topfförmige Werkstück (4') als Rohteil eine auf einer Seite zur Mitte hin gerichtete Einschnürung (7') aufweist, die in einem Winkel ( $\sigma$ ) von maximal  $20^\circ$  in die äußere Umfangsfläche (8) des Werkstücks (4') übergeht und eine Tiefe (a) von  $0,2-0,6 \times S$  aufweist, wobei S die Dicke der Wand des Werkstücks (4') ist.
- 25 30 35

- 1 / 4 -



- 2/4 -



- 3/4 -

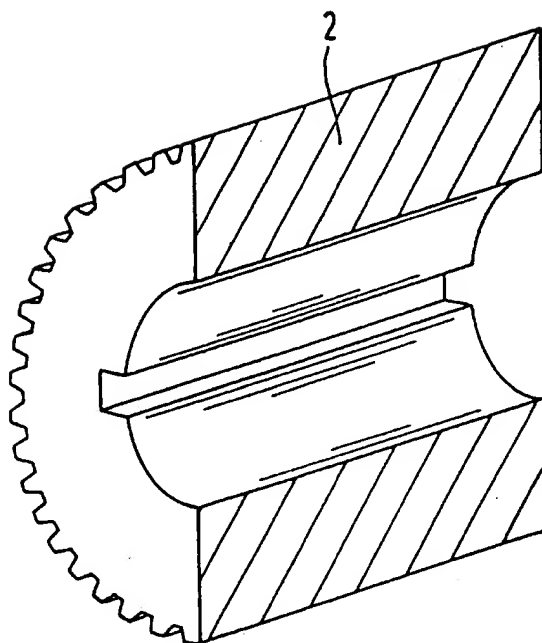


FIG. 5

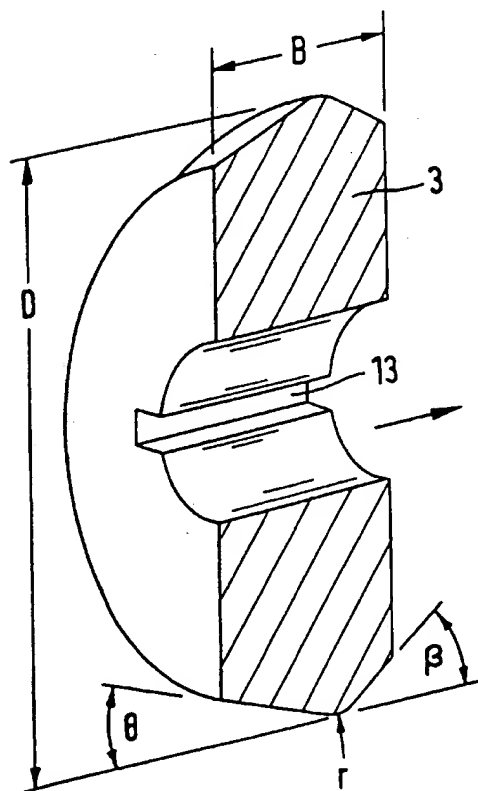


FIG. 6

- 4/4 -

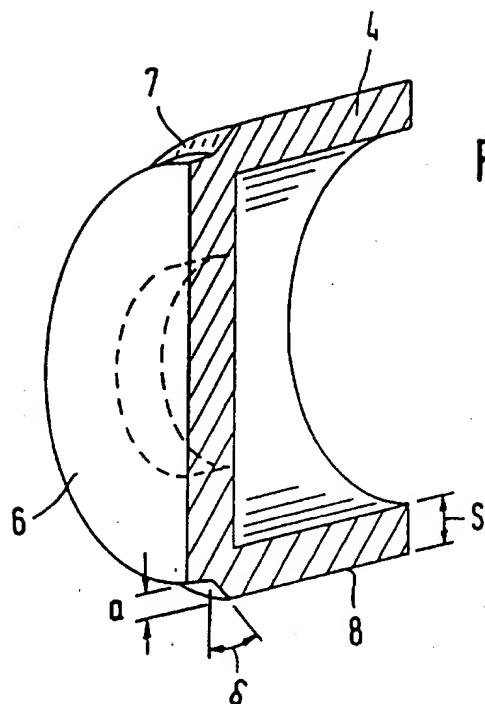


FIG. 7

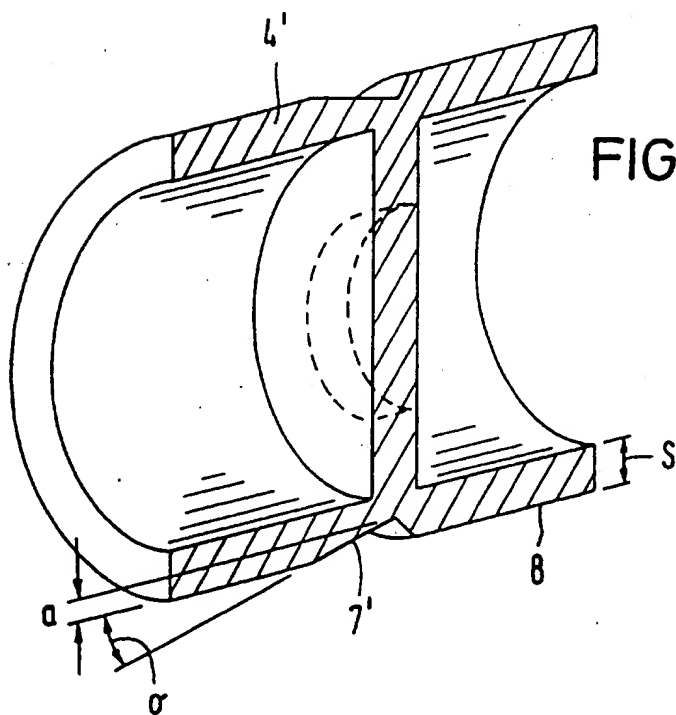


FIG. 8